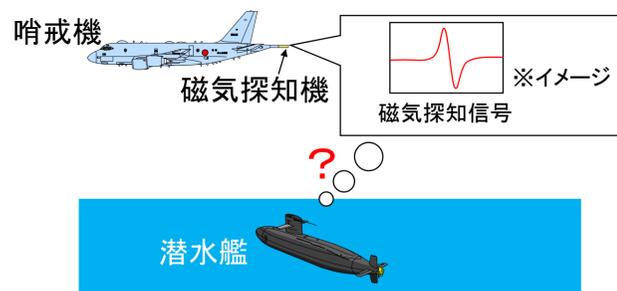
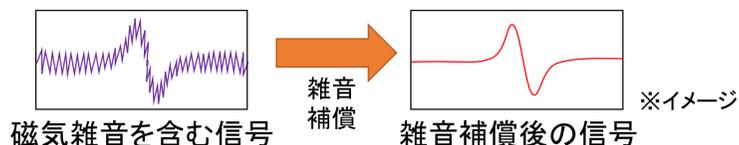
ドローンを使った上空からの磁気計測（1／2）

艦艇装備研究所　川崎支所　電磁気研究室

背景・目的

潜水艦が哨戒機による磁気探知を回避するためには、上空の磁気を管理することが重要である。
しかしながら、我が国には上空の磁気を計測できる装置・施設が存在しない。
そこで、ドローンにより上空の磁気を簡易に計測する技術を獲得することを目的として研究を実施する。

技術的課題

〇ドローンの動揺に起因する動揺**磁気雑音**の**補償技術**
〇地磁気の変化等の環境**磁気雑音**の**補償技術**

技術的課題解決への取組

〇ドローン自体の磁気が小さい機種の選定
〇ドローンによる磁気センサの運用時に動揺が小さい機種の選定
〇ドローンのジャイロセンサ等を活用した動揺磁気雑音補償
〇補償用磁気センサによる環境磁気雑音補償

候補ドローン①（小型）
ACSL、PF2-AE
ペイロード2.75kg

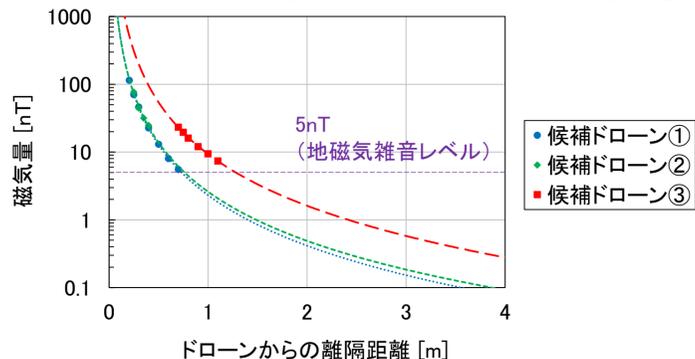
候補ドローン②（中型）
東京航空計器、GNAS SKY
ペイロード6kg

候補ドローン③（大型）
プロドローン、PD6B-Type3
ペイロード20kg

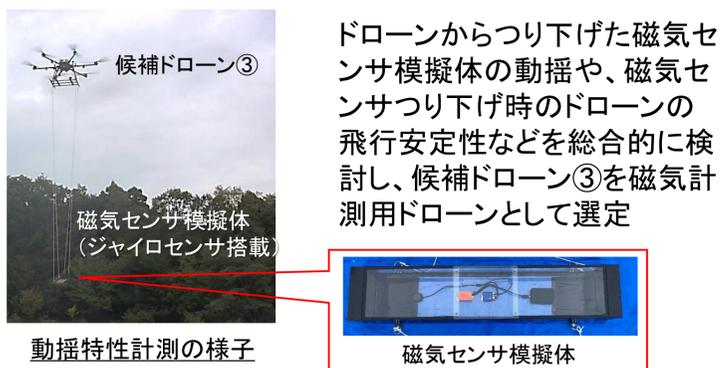
出典　https://product.acsl.co.jp/product/
https://www.tkk-air.co.jp/unmanned_aerial_vehicle.html
https://www.prodrone.com/jp/products/pd6b-type3c/

取組の内容と成果

（1）候補ドローン①～③の磁気を計測し、磁気特性を取得
（2）候補ドローン①～③の動揺特性を計測し、磁気センサの運用に適したドローンを選定
（3）海上において民間船舶の磁気を計測し、動揺磁気雑音補償を検討するための基礎データを取得
（4）補償用磁気センサで環境磁気雑音を計測し、環境磁気雑音補償を検討するための基礎データを取得

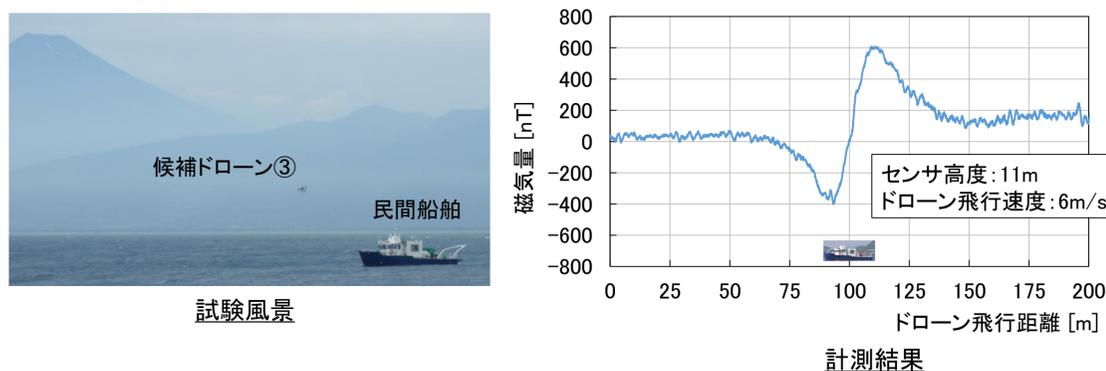
（1）ドローン自体から発生する磁気の減衰特性

候補ドローン①、②で0.75m、候補ドローン③で1.25m程度離れることで、ドローン自体に起因する磁気量が環境磁気雑音レベルまで低減するという磁気特性を取得

（2）ドローンの動揺特性

動揺特性計測の様子

ドローンからつり下げた磁気センサ模擬体の動揺や、磁気センサつり下げ時のドローンの飛行安定性などを総合的に検討し、候補ドローン③を磁気計測用ドローンとして選定

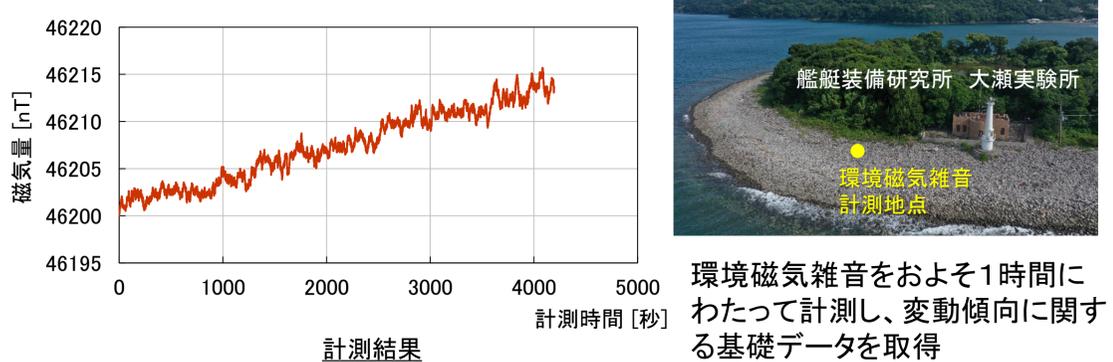
（3）民間船舶の計測結果

試験風景

計測結果

ドローンに取り付けた磁気センサで、民間船舶の磁気信号（動揺磁気雑音を含む。）に関する基礎データを取得

（4）環境磁気雑音の計測

計測結果

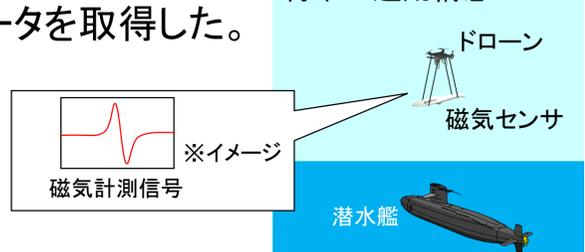
環境磁気雑音をおよそ1時間にわたって計測し、変動傾向に関する基礎データを取得

まとめ・今後の展望

〇上空の磁気計測に適したドローンを選定し、民間船舶の磁気を計測して基礎データを取得した。

〇取得したデータをもとに、磁気雑音補償技術を検討・確立する。

〇今後は、潜水艦の磁気を計測して上空の磁気の管理に活用する予定。

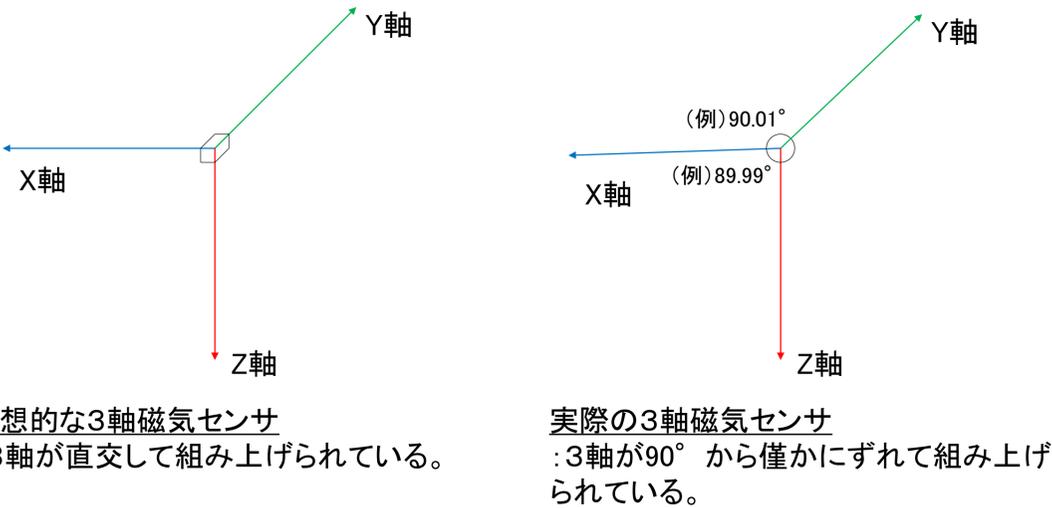
ドローンを使った上空からの磁気計測（2／2）

艦艇装備研究所　川崎支所　電磁気研究室

～技術解説～

動揺磁気雑音の補償技術

（1）直交度補正

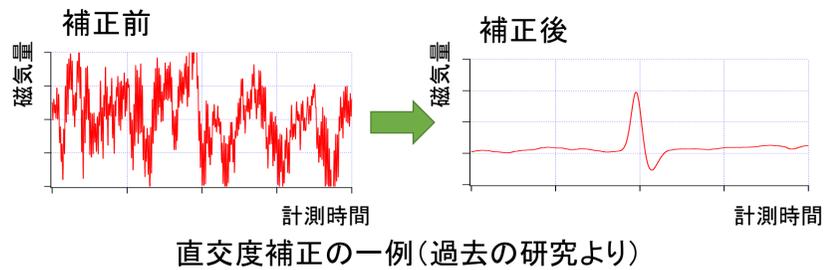
理想的な3軸磁気センサ
：3軸が直交して組み上げられている。

実際の3軸磁気センサ
：3軸が90° から僅かにずれて組み上げられている。

理想的な3軸磁気センサは動揺しても3軸合成磁気H_tが不変⇒動揺に強い。

$$H_t = \sqrt{{H_x}^2 + {H_y}^2 + {H_z}^2}$$

実際の3軸磁気センサは動揺するとH_t が変動
⇒動揺に弱い。

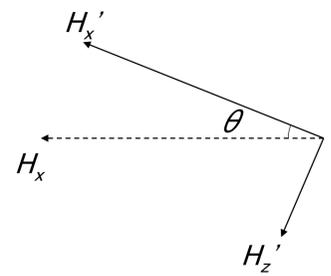
そこで、あらかじめ3軸のずれを計測しておき、磁気の計測結果を補正することで動揺の影響を小さくする。これを直交度補正と呼ぶ。

直交度補正の一例（過去の研究より）

（2）ジャイロセンサを使った雑音補償

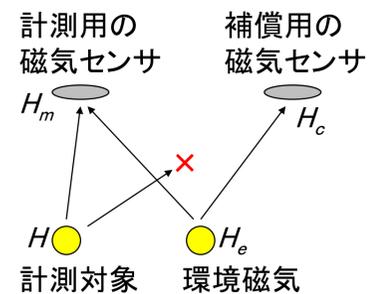
磁気センサが動揺すると、動揺の角度に応じて磁気センサ出力は変動する。
たとえば磁気センサがピッチ角θ動揺するとき、真のH_xと計測されるH_x'、H_z'の間には次のような関係がある。

$$H_x = H_x' \cos\theta + H_z' \sin\theta$$

このように回転角を用いて計測値から真の値を求めなければならない。
このとき、ジャイロセンサの出力（角速度ω）を積分して角度を求める。

$$\theta = \int \omega dt$$

環境磁気雑音の補償技術

（1）変動する環境磁気に起因する雑音の補償

環境磁気は常に変動しており、これを除去しないと環境磁気以下の信号を検出できない。
環境磁気を除去する方法の一つは、計測に用いる磁気センサとは別に補償用の磁気センサを用いることである。
補償用の磁気センサは、計測用の磁気センサより計測対象から遠く、しかし環境磁気が同一の地点に置く必要がある。
このように配置すると、計測対象の磁気Hは計測用の磁気センサのみで計測され、環境磁気H_e は計測用の磁気センサと補償用の磁気センサ両方で計測される。

計測用の磁気センサの信号　$H_m = H + H_e$

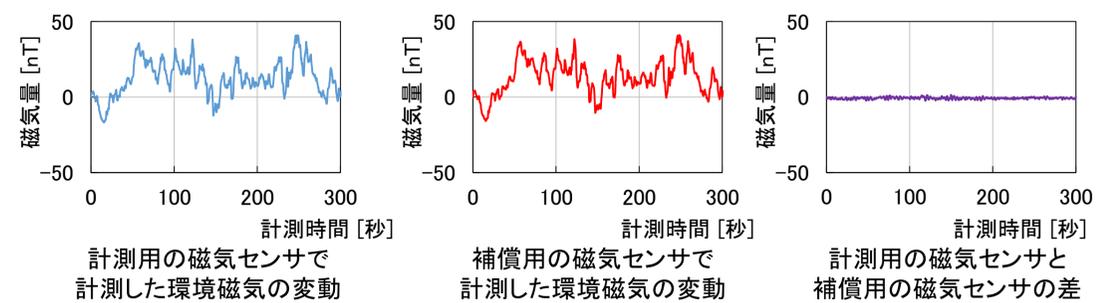
補償用の磁気センサの信号　$H_c = H_e$

この差分をとることで、目標の信号Hのみを計測することができる。

$$H_m - H_c = H$$

計測用の磁気センサで計測した環境磁気の変動

補償用の磁気センサで計測した環境磁気の変動

計測用の磁気センサと補償用の磁気センサの差

（2）変動しない環境磁気に起因する雑音の補償

環境磁気として地質に起因するものなど時間によって変動しない信号がある。
これを補償するためには、目標がいない状態で計測エリアの磁気（磁気マップ）を測定しておき、目標の計測後にその差分をとるという方法がある。

計測時の磁気信号Hm

$$H_m = H + H_b$$

（H_b：地質などに起因する環境磁気）

目標がいないときの磁気信号Hm'

$$H_m' = H_b$$

$$H_m - H_m' = H$$

艦艇装備研究所久里浜地区で計測した磁気マップ